

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **08-304857**

(43)Date of publication of application : **22.11.1996**

(51)Int.Cl. G02F 1/35  
G02B 6/00  
G02B 6/00  
H01S 3/07

(21)Application number : **07-110536** (71)Applicant : **ATR KODENPA TSUSHIN KENKYUSHO:KK MITSUBISHI CABLE IND LTD**

(22)Date of filing : **09.05.1995** (72)Inventor : **MIYAZAKI TETSUYA KARASAWA YOSHIO YOSHIDA MINORU**

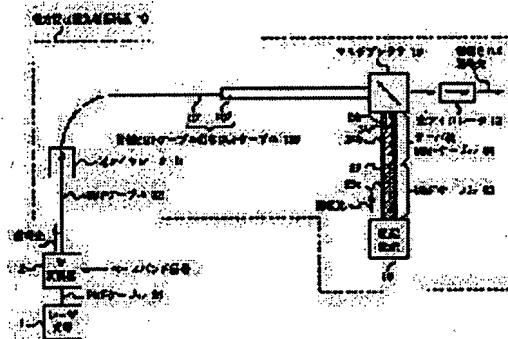
## (54) OPTICAL AMPLIFIER

### (57)Abstract:

**PURPOSE:** To provide an optical amplifier capable of more faithfully amplifying a signal beam compared with a usual example and inducing excitation light from a high output excitation light source to a core of a smaller size.

**CONSTITUTION:** An optical isolator 11 transmits the signal beam in one direction, and outputs it to a second optical fiber cable 102 through a first optical fiber cable 101, and on the other hand, the excitation light generated by the excitation light source 16 is transmitted to be outputted through a third fiber cable 24 having tapered core and cladding converting from a larger pore size to a smaller pore size connected to the excitation light source 16. A multiplexer 15 reflects the incident excitation light, and excites the signal beam by making it incident on the second optical fiber cable 102, and passes through the signal beam amplified by inductive

emission in the second optical fiber cable 102 by excitation. The optical isolator 12 transmits and outputs the signal beam outputted from the multiplexer 15 in one direction.



---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.05.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2693133

[Date of registration] 05.09.1997

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right] 05.09.2005

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] This invention relates to the light amplifier equipped with the fiber optic cable.

[0002]

[Description of the Prior Art] The high power optical fiber laser of a wavelength the band of 1.064 micrometers is indicated in reference 1 "H. Po et al., "High power neodymium-doped single transverse mode fibre laser", Electronics Letters, Vol.29.No.19, and pp.1500 August 19, 1993 [ -1501 or ]" (henceforth the 1st conventional example) using the double clad fiber optic cable (henceforth a DCF cable) with which Nd (neodmium) was added. In this 1st conventional example, since Nd is 4 level system, even if it uses the side excitation effectiveness, it uses that the excitation light of the high power of 15W can be introduced into the 1st comparatively large clad field around a core for that signal light can be amplified and a list.

[0003] Moreover, the optical amplifier constituted using the fiber optic cable with which Nd was added is indicated in reference 2 "T. Miyazaki et al., "Neodymium-doped fibre amplifier at 1.064micrometer", Electronics Letters, Vol.30.No.25, and pp.2142 December 8, 1994 [ -2143 or ]." In this 2nd conventional example, gain 30dB or more is realized in the fiber optic cable optical amplifier of a wavelength the band of 1.064 micrometers. Only predetermined concentration has added Nd with aluminum into the part (diameter of 6 micrometer) of the core of a single-mode fiber, and magnification actuation is realized when only predetermined length makes the core section spread excitation light with signal light.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, it was reflected at the both ends of

a DCF cable, the signal light amplified by excitation light in the 1st conventional example resonated, in order to carry out laser oscillation, carried out incidence of the signal light including an information signal, and had the trouble that it could not be amplified faithfully and could not be outputted.

[0005] Moreover, in the 2nd conventional example, in order to attain a high increase in power, it is very difficult for the diameter of opening to be efficient and to introduce the excitation light from the high power excitation light source several 100 micrometers or more to the core like the diameter of 5 micrometer. Moreover, even if it used the DCF cable with which Nd was added, the smaller possible one of the diameter of the 1st clad which excitation light spreads was desirable from the point of excitation efficiency, and it had the trouble that the incidence image formation of the high power excitation light to the 1st clad field of a DCF cable with more small aperture was difficult.

[0006] It is in the purpose of this invention offering the light amplifier which can solve the above trouble, can amplify signal light faithfully as compared with the conventional example, and can moreover introduce the excitation light from the high power excitation light source into the core of a smaller path.

[0007]

[Means for Solving the Problem] The 1st fiber optic cable of a single mode with which the light amplifier according to claim 1 concerning this invention has a core and a clad, The core which has the same core diameter as the core diameter of the 1st fiber optic cable of the above and by which predetermined rare earth elements and other elements were doped, The 1st clad which has the same path as the diameter of a clad of the 1st fiber optic cable of the above, The 2nd fiber optic cable of a single mode which has the 2nd clad which has bigger aperture than the 1st clad of the above, and was connected with the 1st fiber optic cable of the above on the same axle, The 1st optical isolator which transmits the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and is outputted to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above, A generating means to generate the excitation light which has predetermined excitation light wave length, and the core of the shape of a taper changed into smaller aperture from big aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means, The 3rd fiber optic cable of the multimode which transmits and outputs the excitation light which has a clad and was generated by the above-mentioned generating means, By reflecting the excitation light outputted from the 3rd fiber optic cable of the above, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above The signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above is excited by the above-mentioned excitation light. A multiplexer means to make pass the signal light which is amplified by the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation, and is outputted from the 2nd fiber optic cable of the above, and to output in the direction different from the above-mentioned excitation light, It is characterized by having the 2nd optical isolator which transmits and outputs the signal light outputted from the above-mentioned multiplexer means to a predetermined one direction.

[0008] Moreover, the light amplifier according to claim 2 concerning this invention A core and the 1st fiber optic cable of the single mode which has a clad, The core which has the same core diameter as the core diameter of the 1st fiber optic cable of the above and by which predetermined rare earth elements and other elements were doped, The 1st clad

which has the same path as the diameter of a clad of the 1st fiber optic cable of the above, The 2nd fiber optic cable of a single mode which has the 2nd clad which has bigger aperture than the 1st clad of the above, and was connected with the 1st fiber optic cable of the above on the same axle, A generating means to generate the excitation light which has predetermined excitation light wave length, and the core of the shape of a taper changed into small aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means and connects with the 2nd fiber optic cable of the above from big aperture, The 3rd fiber optic cable of the multimode which has a clad, transmits the excitation light generated by the above-mentioned generating means, and is outputted to the 2nd fiber optic cable of the above, A reflective means to reflect signal light although it is prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above, or the 2nd fiber optic cable of the above near [ concerned ] the connection section and the above-mentioned excitation light is passed, By transmitting the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above The signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above is excited by the above-mentioned excitation light. By the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation It is characterized by having the optical circulator which transmits the signal light which is reflected by the amplified account of Gokami reflective means, and is outputted from the 1st fiber optic cable of the above through the 2nd fiber optic cable of the above to a predetermined one direction.

[0009] Moreover, light amplifier according to claim 3 is characterized by the above-mentioned reflective means being the dichroic mirror prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above in light amplifier according to claim 2.

[0010] Furthermore, in light amplifier according to claim 2, the above-mentioned reflective means is formed in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above, and light amplifier according to claim 4 is characterized by being the multilayers layer formed on the dielectric substrate.

[0011] Furthermore, light amplifier according to claim 5 is characterized by the above-mentioned reflective means being the diffraction grating formed in the 2nd fiber optic cable of the above near [ between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above ] the connection section in light amplifier according to claim 2.

[0012]

[Function] In the light amplifier according to claim 1 constituted as mentioned above, the 1st optical isolator of the above transmits the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and outputs it to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above. On the other hand, the 3rd fiber optic cable of the above has the core of the shape of a taper changed into smaller aperture from big aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means, and a clad, and transmits and outputs the excitation light generated by the above-mentioned generating means. The above-mentioned multiplexer means passes the signal light which excites the signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation light, is amplified by the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned

excitation, and is outputted from the 2nd fiber optic cable of the above, and outputs in the direction different from the above-mentioned excitation light by reflecting the excitation light outputted from the 3rd fiber optic cable of the above, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above. And the 2nd optical isolator of the above transmits and outputs the signal light outputted from the above-mentioned multiplexer means to a predetermined one direction.

[0013] Moreover, in light amplifier according to claim 2, the 3rd fiber optic cable of the above has the core of the shape of a taper changed into small aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means and connects with the 2nd fiber optic cable of the above from big aperture, and a clad, transmits the excitation light generated by the above-mentioned generating means, and outputs it to the 2nd fiber optic cable of the above. The above-mentioned optical circulator by transmitting the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above. The signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above is excited by the above-mentioned excitation light. The signal light which is reflected by the account of Gokami reflective means amplified by the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation, and is outputted from the 1st fiber optic cable of the above through the 2nd fiber optic cable of the above is transmitted to a predetermined one direction.

[0014] Moreover, in light amplifier according to claim 3, the above-mentioned reflective means is the dichroic mirror prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above preferably.

[0015] Furthermore, in light amplifier according to claim 4, the above-mentioned reflective means is the multilayers layer which was prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above, and was preferably formed on the dielectric substrate.

[0016] Furthermore, in light amplifier according to claim 5, the above-mentioned reflective means is the diffraction grating formed in the 2nd fiber optic cable of the above near [ between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above ] the connection section preferably.

[0017]

[Example] Hereafter, the example which starts this invention with reference to a drawing is explained. In the following specifications and drawings, a single mode double clad fiber optic cable is called DCF cable, a single-mode fiber is called SMF cable, a polarization preservation mold fiber optic cable is called PMF cable, and a multimode fiber is called MMF cable.

[0018] <1st example> drawing 1 is the block diagram of the back excitation mold light amplifier which is the 1st example concerning this invention. The back excitation mold light amplifier of this 1st example is equipped with optical isolators 11 and 12, the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable, a multiplexer 15, the excitation light source 16, the MMF cable 23, and the taper-like MMF cable 24, and is constituted.

[0019] As shown in drawing 1, the laser beam of the single mode of for example, the wavelength the band of 1.06 micrometers generated by the laser light source 1 which is Nd:YAG laser is inputted into an optical modulator 2 through the PMF cable 21. An optical modulator 2 carries out intensity modulation of the laser beam inputted with the

baseband signaling which is an information signal into which it is inputted. As a signal light It outputs to a multiplexer 15 through the SMF cable 22, the optical isolator 11 which passes signal light in the predetermined one direction from an input edge to an outgoing end, and the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable. Here, wavelength the band of 1.06 micrometers is a wavelength range from 1.05 micrometers to 1.07 micrometers. Moreover, the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable is manufactured so that the detail after-mentioned may be carried out, and the SMF cable 101 and the DCF cable 102 come to connect it. Signal light is inputted into a multiplexer 15 through the SMF cable 101 and the DCF cable 102 from an optical isolator 11.

[0020] In this example, although the optical modulator 2 is carrying out intensity modulation of the laser beam, it may be constituted so that a phase modulation may be carried out.

[0021] The above-mentioned DCF cable 100 with a single-sided SMF cable is the following, and is made and manufactured. First, DCF cable 100f [ finishing / manufacture ] is prepared by the well-known approach. In this DCF cable 100f, as shown in drawing 8 , the 1st clad 111 of an annular cross section is formed so that the perimeter of the core 110 of a circular cross section may be covered, and the 2nd clad 112 of the annular cross section which has bigger aperture than the 1st clad 111 further so that the perimeter of the 1st clad 111 may be covered is formed. Here, a core 110 and the 1st clad 111 become with the quartz glass with which refractive indexes differ mutually, and its refractive index of the 1st clad 111 is smaller than the refractive index of a core 110. Moreover, the 2nd clad 112 becomes in the low refractive-index polymer which has a refractive index smaller than the 1st clad 111. Here, the 2nd clad 112 may be the quartz glass with which the fluorine was added. The DCF cable 100f concerned, it is manufactured by the well-known vacuum arc heating decarbonizing process, for example, Nd, Er, or Pr is mainly doped by the part of a core 110 as predetermined rare earth elements, and aluminum, Pr, or germanium is doped as other elements.

[0022] Subsequently, as shown in drawing 9 , only predetermined die length removes the 2nd clad 112 from a DCF cable 100f end. On the other hand, as shown in drawing 10 , it is covered with the primary covering film 114 which becomes with the silicon system plastics which has a larger refractive index than the 1st clad 111 around the SMF cable which 1st clad 111a of an annular cross section is formed, and becomes so that the perimeter of core 110a of a circular cross section may be covered, and SMF cable 100g which should be connected is formed. The end of this SMF cable 100 is connected so that it may become the same axle to the end by the side of the 2nd clad 112 removal of DCF cable 100f. Here, an SMF cable 100g core diameter is equal to a DCF cable 100f core, and the SMF cable 100g diameter of a clad is equal to the 1st DCF cable 100f diameter of a clad. And the predetermined die length of the primary covering film 114 is covered at a part from the part from which the 2nd DCF cable 100f clad 112 was removed. After covering with the welding armored tube 115 of the annular cross section which becomes with a thermoset plastic, for example, by impressing predetermined heat to the peripheral face of the welding armored tube 115 concerned The cross section of the SMF cable 101 and the cross section of the DCF cable 102 can be carried out welding 121, and SMF cable 101g can be connected with DCF cable 100f on the same axle. By this The DCF cable 100 with a single-sided SMF cable which consists of an SMF cable 101 and a DCF cable 102 can be manufactured.

[0023] On the other hand, the excitation light source 16 is a laser light source, and it generates the excitation light which has the excitation wavelength of predetermined 0.80-micrometer band which is wavelength lower than signal light, and it carries out outgoing radiation to a multiplexer 15 through the MMF cable 23 which has core 23c of a circular cross section, and core 24c of the circular cross section where a core diameter becomes small by the shape of a taper and the taper-like MMF cable 24 which has clad 24r of a wrap annular cross section for the perimeter. Here, 0.80-micrometer band says the wavelength range from 0.800 micrometers to 0.810 micrometers. The taper-like MMF cable 24 is connected by welding 25 by the end by the side of the MMF cable 23 on the end and the same axle with a same core diameter of 400 micrometers of the MMF cable 23, and the path becomes small toward a multiplexer 15 in a coaxial configuration, and core 24c of the taper-like MMF cable 24 is formed by the shape of a taper [ like ], and has the core diameter of .125micrometer at the connection edge of a multiplexer 15. Therefore, the taper-like MMF cable 24 can change excitation light into the core of a smaller path, and can introduce it into a multiplexer 15.

[0024] A multiplexer 15 is wavelength multiplexer which multiplexes the signal light from which wavelength differs mutually, and excitation light, and as shown in drawing 2 , it has a collimate lens 150, 151 and a dichroic mirror 152, and it is constituted. The laminating only of the number of laminatings predetermined in the low reflection film which has 5% or less of low reflection factor on the high reflective thin film which has 99% or more of high reflection factor on the wavelength of excitation light, and has a high refractive index, and the wavelength of signal light, and has a low refractive index by turns is carried out, and a dichroic mirror 152 is constituted. Therefore, a dichroic mirror 152 is passed, without reflecting signal light, although excitation light is reflected. After carrying out incidence of the excitation light EB by which outgoing radiation was carried out from the taper-like MMF cable 24 to a collimate lens 151 and changing it into an parallel beam of light, it is reflected by the dichroic mirror 152 and incidence of it is carried out to a collimate lens 150. A collimate lens 150 extracts the beam of the excitation light EB to the path of the 1st clad 111 of the DCF cable 102, or a path [ a little ] smaller than it, and it is made it to carry out incidence to the 1st clad 111' of the DCF cable 102.

[0025] In the DCF cable 102, the signal light currently transmitted toward the multiplexer 15 is excited by excitation light, it is amplified by the induced emission in the rare earth elements contained in the core 110 by the above-mentioned excitation, and incidence of the signal light which has the wavelength of the amplified 1.06-micrometer band concerned is carried out to a collimator lens 150 through 102s of outgoing radiation edges of the DCF cable 102. A collimator lens 150 carries out outgoing radiation of the signal light which carried out incidence to the dichroic mirror 152 from the light amplifier 10 concerned through the optical isolator 12 which carries out outgoing radiation to an outgoing end from an input edge, after changing into a parallel ray the signal light which carried out incidence. Here, in order to prevent laser oscillation so that signal light may not return to the core 110 of the DCF cable 102 namely, as shown in drawing 2 , slanting polish of the 102s of the outgoing radiation edges of the signal light EB of the DCF cable 102 is carried out with a tilt angle at  $\theta =$  about 6 degrees thru/or about 8 degrees.

[0026] As explained above, in this example, the back excitation mold light amplifier which can amplify signal light faithfully, using the DCF cable 100 with a single-sided

SMF cable and a multiplexer 15 as a fiber optic cable with which rare earth elements were added can be constituted. Moreover, with the taper-like MMF cable 24, the diameter of opening can make the excitation light from the excitation light source 16 of comparatively large high power able to introduce at high effectiveness as compared with the conventional example to the 1st clad 111 of the DCF cable 102 with more small aperture, and can output signal light by higher output power as compared with the conventional example.

[0027] <2nd example> drawing 3 is the block diagram of the reflective double pass mold light amplifier which is the 2nd example concerning this invention. In drawing 3, the same sign is attached about the same thing as drawing 1 of the 1st example, and drawing 2, and the explanation is omitted. The light amplifier of this 2nd example is equipped with an optical circulator 31, the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable, the taper-like MMF cable 24, the MMF cable 23, and the excitation light source 16, and is constituted.

[0028] As shown in drawing 3, the laser beam of the single mode of a wavelength the band of 1.06 micrometers is inputted into an optical modulator 2 through the PMF cable 21, for example, intensity modulation of the laser beam which was generated by the laser light source 1 which is Nd:YAG laser and which is inputted is carried out with the baseband signaling which is an information signal into which it is inputted, and an optical modulator 2 carries out incidence to the 1st terminal of an optical circulator 31 through the PMF cable 26 as a signal light. Incidence of the signal light which carried out incidence to the 1st terminal of an optical circulator 31 is carried out to the DCF cable 102 from the 2nd terminal through the SMF cable 101 of the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable.

[0029] The DCF cable [ in / in drawing 4 / drawing 3 ] 100 with a single-sided SMF cable, It is drawing showing the connection section with the taper-like MMF cable 24, and drawing 4 (a) is drawing of longitudinal section showing the edge of the DCF cable 102. Drawing 4 (b) is the sectional view showing the end face of the DCF cable 102 except dichroic mirror 34m. Drawing 4 (d) is drawing of longitudinal section showing the edge of the taper-like MMF cable 24, and drawing 4 (c) is the sectional view showing the end face of the taper-like MMF cable 24 except dichroic mirror 33m.

[0030] As shown in the perimeter of the other end of the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable at (a) of drawing 4, the FERU rule 34 for connectors is formed and dichroic mirror 34m is formed in the other end side of the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable. On the other hand, the FERU rule 33 for connectors is formed in the perimeter of the end face of the taper-like MMF cable 24 connected with the other end side of the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable, dichroic mirror 33m is formed in the end face of the taper-like MMF cable 24, dichroic mirror 33m and dichroic mirror 34m are connected by end faces, connection immobilization is carried out for example, by the screw stop, and each flange of the FERU rules 33 and 34 for connectors forms the connection section 35.

[0031] Here, the path of core 24c in the end face of the taper-like MMF cable 24 is set up so that it may become equal to the path of the 1st clad 111 of the DCF cable 102. Moreover, dichroic mirrors 33m and 34m are passed, without reflecting excitation light, although the laminating only of the predetermined number of laminatings is carried out, it is constituted and the low reflection film which has 99% or more of high reflection factor



on the wavelength of signal light, has 5% or less of low reflection factor on the high reflective thin film which has a high refractive index, and the wavelength of excitation light, respectively, and has a low refractive index reflects signal light by turns. Therefore, the excitation light source 16 generates the excitation light which has the excitation wavelength of predetermined 0.80-micrometer band of the single mode which is wavelength lower than signal light, and it is made it to carry out incidence to the 1st clad 111 of the DCF cable 102 through core 23c of the MMF cable 23, and core 24c of the taper-like MMF cable 24. Here, once changing the outgoing radiation light from the MMF cable 23 for the excitation light sources with comparatively big aperture into the small diameter of propagating mode by low loss with the taper-like MMF cable 24, it is made to combine with the 1st clad 111 of DCF \*\*\*\* 102, and incidence of it is carried out.

[0032] In the DCF cable 102, the signal light currently transmitted toward the connection section 16 The signal light which is excited by excitation light, is amplified by the induced emission in the rare earth elements contained in the core 110 by the above-mentioned excitation, and has the wavelength of the amplified 1.06-micrometer band concerned It is reflected by dichroic mirror 34m, and incidence is returned and carried out to the 2nd terminal of an optical circulator 31 through the DCF cable 102 of the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable, and the SMF cable 101. That is, signal light is amplified, being transmitted when going and coming back to the DCF cable 102. An optical circulator 31 turns and carries out outgoing radiation of the amplified signal light which carried out incidence to the 2nd terminal to an external device from the 3rd terminal.

[0033] As explained above, in this example, by going, coming back to and transmitting the DCF cable 102 of the DCF cable 100 with a single-sided SMF cable and the SMF cable 101 with which rare earth elements were added and which are a fiber optic cable, signal light will be amplified and outgoing radiation will be carried out from the 3rd terminal of an optical circulator 31. Here, it outputs from an optical circulator 31, and the light which carries out reflective feedback is removed by the optical circulator 31, and stable magnification actuation is maintained, without being influenced of reflective feedback light. Therefore, signal light is faithfully amplified as compared with the conventional example. Moreover, with the taper-like MMF cable 24, the diameter of opening can make the excitation light from the excitation light source 16 of comparatively large high power able to introduce at high effectiveness as compared with the conventional example to the 1st clad 111 of the DCF cable 102 with more small aperture, and can output signal light by higher output power as compared with the conventional example.

[0034] It may replace with the connection section 35 of this 2nd example, and as shown in drawing 5 , the thing in which the multilayers layer 121 was formed on the dielectric substrate 120 may be used. In addition, in drawing 5 , it is omitting about the FERU rule for connectors. While the taper-like MMF cable 24 is connected with the field in which the multilayers layer 121 of the dielectric substrate 120 is not formed, the DCF cable 102 is connected on the multilayers layer 121. The dielectric substrate 120 becomes with a polyimide film or glass, has a very small reflection factor in excitation light wave length, and passes excitation-light. Moreover, the multilayers layer 121 is passed, without reflecting excitation light, although the laminating only of the predetermined number of

laminatings is carried out, it is constituted and the low reflection film which has 5% or less of low reflection factor on the high reflective thin film which has 99% or more of high reflection factor on the wavelength of signal light, and has a high refractive index, and the wavelength of excitation light, and has a low refractive index reflects signal light by turns. Therefore, incidence of the excitation light is carried out to the DCF cable 102 through the dielectric substrate 120 and the multilayers layer 121 from the taper-like MMF cable 24. Signal light is again amplified, transmitting the DCF cable 102, after it is amplified transmitting the DCF cable 102 and being reflected by the multilayers layer 121.

[0035] Moreover, as it replaces with the 2nd example of the above and is shown in drawing 6, while carrying out the end face of the taper-like MMF cable 24, and the end face of the DCF cable 102 welding 120 Near the connection welding section in the core 110 of the DCF cable 102, as signal light wave length is shown in drawing 7 110g of fiber grating sections may be formed, and you may make it operate as a false dichroic mirror by forming the diffraction grating which serves as a higher reflection factor compared with excitation light wave length. In addition, also in drawing 6, it is omitting about the FERU rule for connectors. Also in this case, signal light and excitation light are transmitted like an above-mentioned modification.

[0036]

[Effect of the Invention] According to the light amplifier according to claim 1 applied to this invention as explained in full detail above A core and the 1st fiber optic cable of the single mode which has a clad, The core which has the same core diameter as the core diameter of the 1st fiber optic cable of the above and by which predetermined rare earth elements and other elements were doped, The 1st clad which has the same path as the diameter of a clad of the 1st fiber optic cable of the above, The 2nd fiber optic cable of a single mode which has the 2nd clad which has bigger aperture than the 1st clad of the above, and was connected with the 1st fiber optic cable of the above on the same axle, The 1st optical isolator which transmits the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and is outputted to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above, A generating means to generate the excitation light which has predetermined excitation light wave length, and the core of the shape of a taper changed into smaller aperture from big aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means, The 3rd fiber optic cable of the multimode which transmits and outputs the excitation light which has a clad and was generated by the above-mentioned generating means, By reflecting the excitation light outputted from the 3rd fiber optic cable of the above, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above The signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above is excited by the above-mentioned excitation light. A multiplexer means to make pass the signal light which is amplified by the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation, and is outputted from the 2nd fiber optic cable of the above, and to output in the direction different from the above-mentioned excitation light, It has the 2nd optical isolator which transmits and outputs the signal light outputted from the above-mentioned multiplexer means to a predetermined one direction. Therefore, the back excitation mold light amplifier which can amplify signal light faithfully can be constituted as a fiber optic cable with which rare earth elements were added using the above 1st, the 2nd fiber optic

cable, and the above-mentioned multiplexer which were connected mutually. Moreover, with the 3rd fiber optic cable which has a taper-like core, the diameter of opening can make the excitation light from the excitation light source of comparatively large high power able to introduce at high effectiveness as compared with the conventional example to the 1st clad of the 2nd small fiber optic cable of the above of aperture more, and can output signal light by higher output power as compared with the conventional example. [0037] Moreover, the 1st fiber optic cable of the single mode which has a core and a clad according to the light amplifier according to claim 2 concerning this invention, The core which has the same core diameter as the core diameter of the 1st fiber optic cable of the above and by which predetermined rare earth elements and other elements were doped, The 1st clad which has the same path as the diameter of a clad of the 1st fiber optic cable of the above, The 2nd fiber optic cable of a single mode which has the 2nd clad which has bigger aperture than the 1st clad of the above, and was connected with the 1st fiber optic cable of the above on the same axle, A generating means to generate the excitation light which has predetermined excitation light wave length, and the core of the shape of a taper changed into small aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means and connects with the 2nd fiber optic cable of the above from big aperture, The 3rd fiber optic cable of the multimode which has a clad, transmits the excitation light generated by the above-mentioned generating means, and is outputted to the 2nd fiber optic cable of the above, A reflective means to reflect signal light although it is prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above, or the 2nd fiber optic cable of the above near [ concerned ] the connection section and the above-mentioned excitation light is passed, By transmitting the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above The signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above is excited by the above-mentioned excitation light. By the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation It has the optical circulator which transmits the signal light which is reflected by the amplified account of Gokami reflective means, and is outputted from the 1st fiber optic cable of the above through the 2nd fiber optic cable of the above to a predetermined one direction. Here, it outputs from the above-mentioned optical circulator, and the light which carries out reflective feedback is removed by the optical circulator, and stable magnification actuation is maintained, without being influenced of reflective feedback light. Therefore, signal light is faithfully amplified as compared with the conventional example. Moreover, with the 3rd fiber optic cable which has a taper-like core, the diameter of opening can make the excitation light from the excitation light source of comparatively large high power able to introduce at high effectiveness as compared with the conventional example to the 1st clad of the 2nd small fiber optic cable of the above of aperture more, and can output signal light by higher output power as compared with the conventional example.

[0038] Moreover, according to the light amplifier according to claim 3, in light amplifier according to claim 2, the above-mentioned reflective means is the dichroic mirror prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above. Since it can constitute from a thereby more easy equipment configuration, a manufacturing cost can be made cheap.

[0039] Furthermore, according to the light amplifier according to claim 4, in light amplifier according to claim 2, the above-mentioned reflective means is the multilayers layer which was prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above, and was formed on the dielectric substrate. Since it can constitute from a thereby more easy equipment configuration, a manufacturing cost can be made cheap.

[0040] Furthermore, according to the light amplifier according to claim 5, in light amplifier according to claim 2, the above-mentioned reflective means is the diffraction grating formed in the 2nd fiber optic cable of the above near [ between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above ] the connection section. Since it can constitute from a thereby more easy equipment configuration, a manufacturing cost can be made cheap.

## CLAIMS

---

### [Claim(s)]

[Claim 1] A core and the 1st fiber optic cable of the single mode which has a clad, The core which has the same core diameter as the core diameter of the 1st fiber optic cable of the above and by which predetermined rare earth elements and other elements were doped, The 1st clad which has the same path as the diameter of a clad of the 1st fiber optic cable of the above, The 2nd fiber optic cable of a single mode which has the 2nd clad which has bigger aperture than the 1st clad of the above, and was connected with the 1st fiber optic cable of the above on the same axle, The 1st optical isolator which transmits the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and is outputted to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above, A generating means to generate the excitation light which has predetermined excitation light wave length, and the core of the shape of a taper changed into smaller aperture from big aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means, The 3rd fiber optic cable of the multimode which transmits and outputs the excitation light which has a clad and was generated by the above-mentioned generating means, By reflecting the excitation light outputted from the 3rd fiber optic cable of the above, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above The signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above is excited by the above-mentioned excitation light. A multiplexer means to make pass the signal light which is amplified by the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation, and is outputted from the 2nd fiber optic cable of the above, and to output in the direction different from the above-mentioned excitation light, Light amplifier characterized by having the 2nd optical isolator which transmits and outputs the signal light outputted from the above-mentioned multiplexer means to a predetermined one direction.

[Claim 2] A core and the 1st fiber optic cable of the single mode which has a clad, The core which has the same core diameter as the core diameter of the 1st fiber optic cable of the above and by which predetermined rare earth elements and other elements were doped, The 1st clad which has the same path as the diameter of a clad of the 1st fiber optic cable of the above, The 2nd fiber optic cable of a single mode which has the 2nd

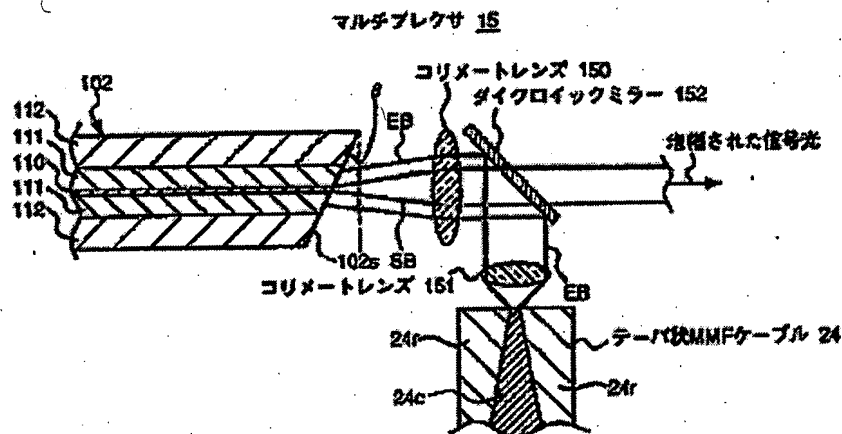
clad which has bigger aperture than the 1st clad of the above, and was connected with the 1st fiber optic cable of the above on the same axle, A generating means to generate the excitation light which has predetermined excitation light wave length, and the core of the shape of a taper changed into small aperture rather than it connects with the above-mentioned generating means and connects with the 2nd fiber optic cable of the above from big aperture, The 3rd fiber optic cable of the multimode which has a clad, transmits the excitation light generated by the above-mentioned generating means, and is outputted to the 2nd fiber optic cable of the above, A reflective means to reflect signal light although it is prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above, or the 2nd fiber optic cable of the above near [ concerned ] the connection section and the above-mentioned excitation light is passed, By transmitting the signal light inputted by having predetermined signal light wave length to a predetermined one direction, and carrying out incidence to the 2nd fiber optic cable of the above through the 1st fiber optic cable of the above The signal light transmitted in the 2nd fiber optic cable of the above is excited by the above-mentioned excitation light. By the induced emission in the 2nd fiber optic cable of the above by the above-mentioned excitation Light amplifier characterized by having the optical circulator which transmits the signal light which is reflected by the amplified account of Gokami reflective means, and is outputted from the 1st fiber optic cable of the above through the 2nd fiber optic cable of the above to a predetermined one direction.

[Claim 3] The above-mentioned reflective means is light amplifier according to claim 2 characterized by being the dichroic mirror prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above.

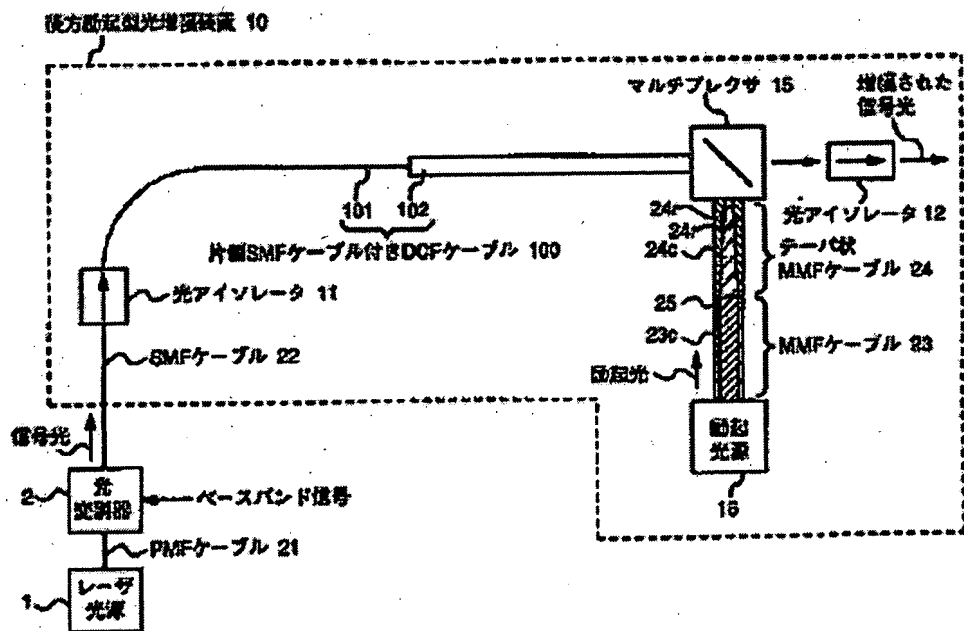
[Claim 4] The above-mentioned reflective means is light amplifier according to claim 2 characterized by being the multilayers layer which was prepared in the connection section between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above, and was formed on the dielectric substrate.

[Claim 5] The above-mentioned reflective means is light amplifier according to claim 2 characterized by being the diffraction grating formed in the 2nd fiber optic cable of the above near [ between the 2nd fiber optic cable of the above, and the 3rd fiber optic cable of the above ] the connection section.

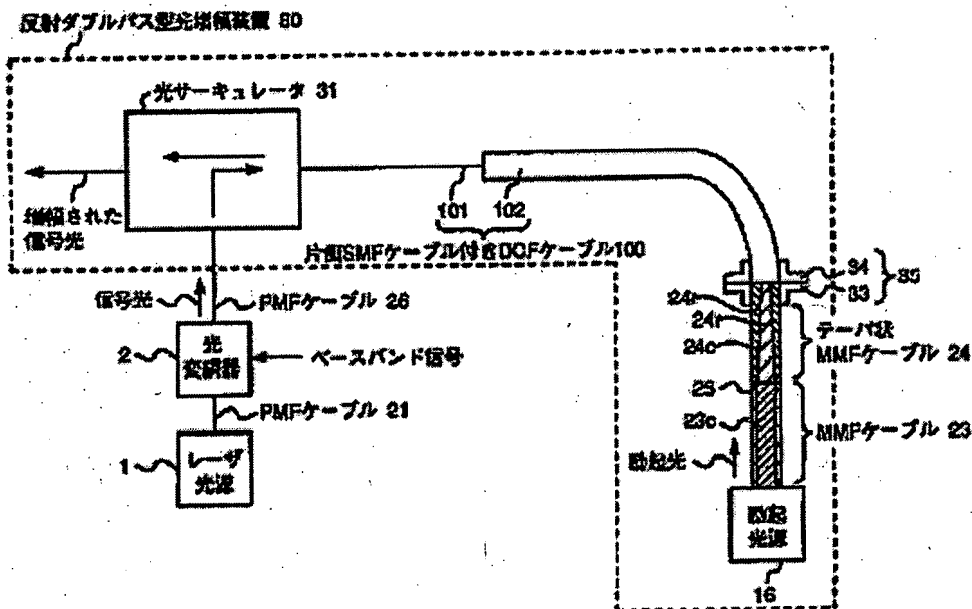
【図2】



【図1】

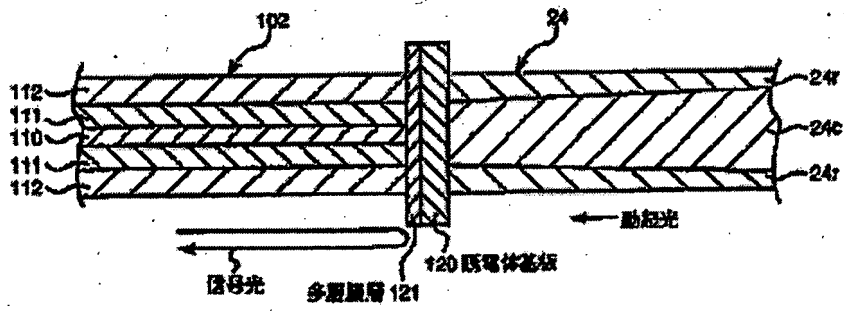


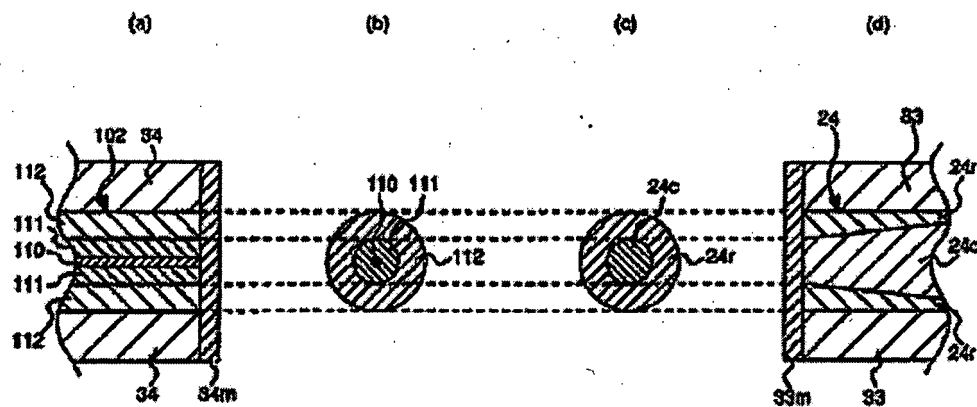
【図3】



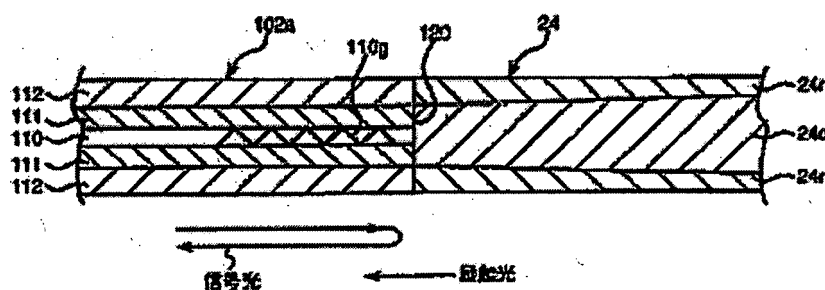
【図5】

【图5】

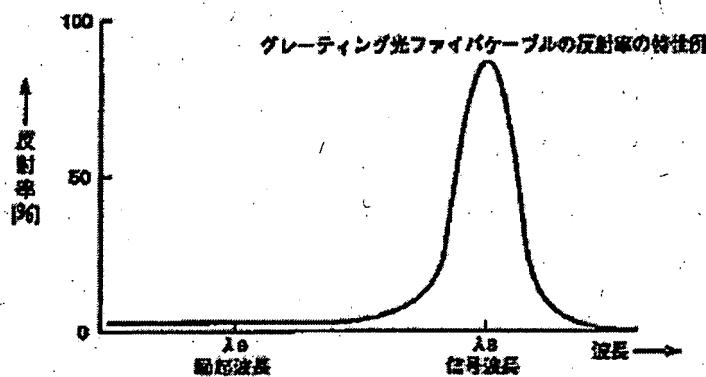




【図6】

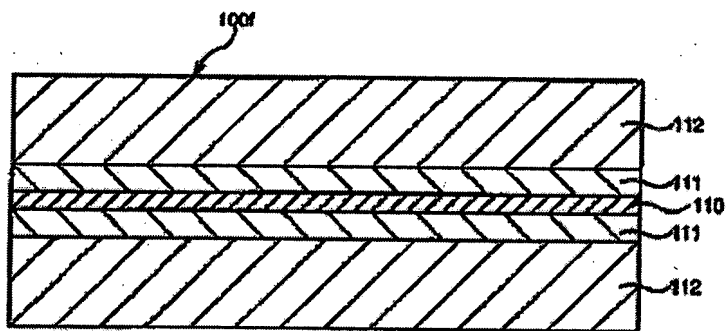


【図7】

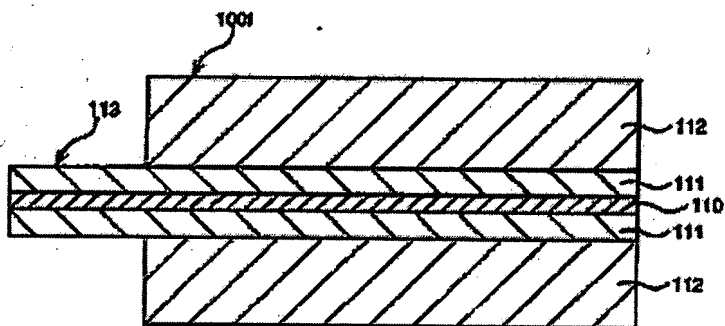




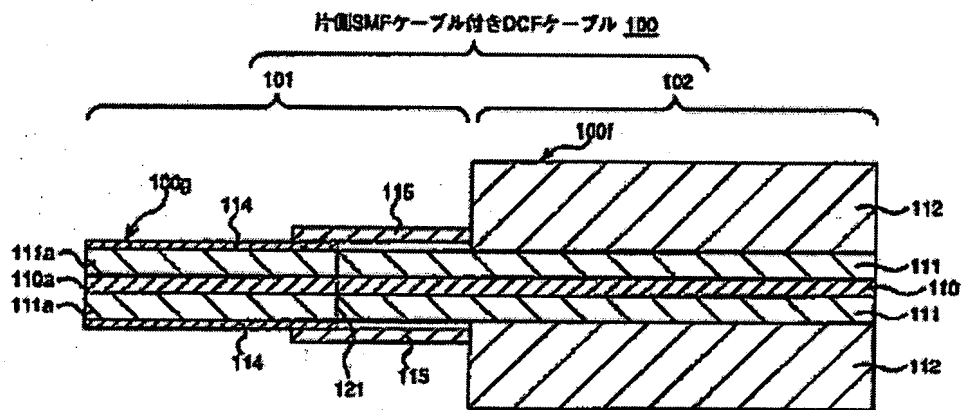
【図8】



【図9】



【図10】





## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 コアとクラッドを有するシングルモードの第1の光ファイバケーブルと、

上記第1の光ファイバケーブルのコア径と同一のコア径を有しかつ所定の希土類元素と他の元素がドーピングされたコアと、上記第1の光ファイバケーブルのクラッド径と同一の径を有する第1のクラッドと、上記第1のクラッドよりも大きな口径を有する第2のクラッドとを有し、上記第1の光ファイバケーブルに同軸で連結されたシングルモードの第2の光ファイバケーブルと、

所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方方向に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに出力する第1の光アイソレータと、

所定の励起光波長を有する励起光を発生する発生手段と、

上記発生手段に連結されるより大きな口径からより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して出力するマルチモードの第3の光ファイバケーブルと、上記第3の光ファイバケーブルから出力される励起光を反射して、上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅されて上記第2の光ファイバケーブルから出力される信号光を通過させ上記励起光とは別の方向に出力するマルチプレクサ手段と、

上記マルチプレクサ手段から出力される信号光を所定の一方方向に伝送して出力する第2の光アイソレータとを備えたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項2】 コアとクラッドを有するシングルモードの第1の光ファイバケーブルと、

上記第1の光ファイバケーブルのコア径と同一のコア径を有しかつ所定の希土類元素と他の元素がドーピングされたコアと、上記第1の光ファイバケーブルのクラッド径と同一の径を有する第1のクラッドと、上記第1のクラッドよりも大きな口径を有する第2のクラッドとを有し、上記第1の光ファイバケーブルに同軸で連結されたシングルモードの第2の光ファイバケーブルと、

所定の励起光波長を有する励起光を発生する発生手段と、

上記発生手段に連結されるより大きな口径から上記第2の光ファイバケーブルに連結されるより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して上記第2の光ファイバケーブルに出力するマルチモードの第3の光ファイバケーブルと、

上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部又は当該連結部近傍の上記第2

の光ファイバケーブルに設けられ、上記励起光を通過させるが信号光を反射する反射手段と、

所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方方向に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅された後上記反射手段によって反射されて上記第2の光ファイバケーブルを介して上記第1の光ファイバケーブルから出力される信号光を所定の一方方向に伝送する光サーキュレータとを備えたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項3】 上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられたダイクロイックミラーであることを特徴とする請求項2記載の光増幅装置。

【請求項4】 上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられ、誘電体基板上に形成された多層膜層であることを特徴とする請求項2記載の光増幅装置。

【請求項5】 上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部近傍の上記第2の光ファイバケーブルに形成された回折格子であることを特徴とする請求項2記載の光増幅装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光ファイバケーブルを備えた光増幅装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 Nd (ネオジウム) が添加されたダブルクラッド光ファイバケーブル (以下、DCFケーブルという。) を用いて波長1.064  $\mu\text{m}$  帯の高出力光ファイバレーザが、文献1 [H. Po et al., "High power neodymium-doped single transverse mode fibre laser", Electronics Letters, Vol. 29, No. 19, pp. 1500-1501, 1993年8月19日] (以下、第1の従来例という。) において開示されている。この第1の従来例では、Ndが4準位系であるために、側方励起効果を用いても信号光を増幅することができること、並びに、コアの周囲の比較的広い第1のクラッド領域に、例えば15Wの高出力の励起光を導入できることを利用している。

【0003】 また、Ndが添加された光ファイバケーブルを用いて構成された光増幅器が文献2 [T. Miyazaki et al., "Neodymium-doped fibre amplifier at 1.064  $\mu\text{m}$ ", Electronics Letters, Vol. 30, No. 25, pp. 2142-2143, 1994年12月8日] において開示されている。この第2の従来例では、波長1.064  $\mu\text{m}$  帯の光ファイバケーブル光増幅器において30dB以上の利得を実現している。シングルモード光ファイバケーブルのコアの

部分(6 $\mu$ m径)にNdをA1とともに所定濃度だけ添加しており、励起光を信号光とともにコア部を所定長さだけ伝搬させることにより増幅動作を実現している。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、第1の従来例においては、励起光により増幅された信号光はDCFケーブルの両端で反射されて共振してレーザ発振するため、情報信号を含む信号光を入射し、それを忠実に増幅して出力することができないという問題点があった。

【0005】また、第2の従来例においては、高出力化を図るため開口径が数100 $\mu$ m以上の高出力励起光源からの励起光を5 $\mu$ m径程のコアへ高効率で導入するのは極めて困難である。また、Ndが添加されたDCFケーブルを用いたとしても励起光が伝搬する第1クラッド径はできるだけ小さい方が励起効率の点から望ましく、より口径の小さいDCFケーブルの第1クラッド領域への高出力励起光の入射結像は困難であるという問題点があった。

【0006】本発明の目的は以上の問題点を解決し、従来例に比較して信号光を忠実に増幅することができ、しかも高出力励起光源からの励起光をより小さい径のコアに導入することができる光増幅装置を提供することにある。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明に係る請求項1記載の光増幅装置は、コアとクラッドを有するシングルモードの第1の光ファイバケーブルと、上記第1の光ファイバケーブルのコア径と同一のコア径を有しかつ所定の希土類元素と他の元素がドーピングされたコアと、上記第1の光ファイバケーブルのクラッド径と同一の径を有する第1のクラッドと、上記第1のクラッドよりも大きな口径を有する第2のクラッドとを有し、上記第1の光ファイバケーブルに同軸で連結されたシングルモードの第2の光ファイバケーブルと、所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに出力する第1の光アイソレータと、所定の励起光波長を有する励起光を発生する発生手段と、上記発生手段に連結されるより大きな口径からより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して出力するマルチモードの第3の光ファイバケーブルと、上記第3の光ファイバケーブルから出力される励起光を反射して、上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅されて上記第2の光ファイバケーブルから出力される信号光を通過させ上記励起光とは別の方向に出力するマルチ

レクサ手段と、上記マルチレクサ手段から出力される信号光を所定の一方に伝送して出力する第2の光アイソレータとを備えたことを特徴とする。

【0008】また、本発明に係る請求項2記載の光増幅装置は、コアとクラッドを有するシングルモードの第1の光ファイバケーブルと、上記第1の光ファイバケーブルのコア径と同一のコア径を有しかつ所定の希土類元素と他の元素がドーピングされたコアと、上記第1の光ファイバケーブルのクラッド径と同一の径を有する第1のクラッドと、上記第1のクラッドよりも大きな口径を有する第2のクラッドとを有し、上記第1の光ファイバケーブルに同軸で連結されたシングルモードの第2の光ファイバケーブルと、所定の励起光波長を有する励起光を発生する発生手段と、上記発生手段に連結されるより大きな口径から上記第2の光ファイバケーブルに連結されるより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して上記第2の光ファイバケーブルに出力するマルチモードの第3の光ファイバケーブルと、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部又は当該連結部近傍の上記第2の光ファイバケーブルに設けられ、上記励起光を通過させるが信号光を反射する反射手段と、所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅された後上記反射手段によって反射されて上記第2の光ファイバケーブルを介して上記第1の光ファイバケーブルから出力される信号光を所定の一方に伝送する光サーキュレータとを備えたことを特徴とする。

【0009】また、請求項3記載の光増幅装置は、請求項2記載の光増幅装置において、上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられたダイクロイックミラーであることを特徴とする。

【0010】さらに、請求項4記載の光増幅装置は、請求項2記載の光増幅装置において、上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられ、誘電体基板上に形成された多層膜層であることを特徴とする。

【0011】またさらに、請求項5記載の光増幅装置は、請求項2記載の光増幅装置において、上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部近傍の上記第2の光ファイバケーブルに形成された回折格子であることを特徴とする。

【0012】

【作用】以上のように構成された請求項1記載の光増幅装置においては、上記第1の光アイソレータは、所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方方向に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに出力する。一方、上記第3の光ファイバケーブルは、上記発生手段に連結されるより大きな口径からより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して出力する。上記マルチプレクサ手段は、上記第3の光ファイバケーブルから出力される励起光を反射して、上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅されて上記第2の光ファイバケーブルから出力される信号光を通過させ上記励起光とは別の方向に出力する。そして、上記第2の光アイソレータは、上記マルチプレクサ手段から出力される信号光を所定の一方方向に伝送して出力する。

【0013】また、請求項2記載の光増幅装置においては、上記第3の光ファイバケーブルは、上記発生手段に連結されるより大きな口径から上記第2の光ファイバケーブルに連結されるより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して上記第2の光ファイバケーブルに出力する。上記光サーキュレータは、所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方方向に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅された後上記反射手段によって反射されて上記第2の光ファイバケーブルを介して上記第1の光ファイバケーブルから出力される信号光を所定の一方方向に伝送する。

【0014】また、請求項3記載の光増幅装置においては、上記反射手段は、好ましくは、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられたダイクロイックミラーである。

【0015】さらに、請求項4記載の光増幅装置においては、上記反射手段は、好ましくは、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられ、誘電体基板上に形成された多層膜層である。

【0016】またさらに、請求項5記載の光増幅装置においては、上記反射手段は、好ましくは、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部近傍の上記第2の光ファイバケーブルに形成された回折格子である。

【0017】

【実施例】以下、図面を参照して本発明に係る実施例について説明する。以下の明細書及び図面においてはシングルモードダブルクラッド光ファイバケーブルをDCFケーブルといい、シングルモード光ファイバケーブルをSMFケーブルといい、偏波保存型光ファイバケーブルをPMFケーブルといい、マルチモード光ファイバケーブルをMMFケーブルという。

【0018】<第1の実施例>図1は、本発明に係る第1の実施例である後方励起型光増幅装置のブロック図である。この第1の実施例の後方励起型光増幅装置は、光アイソレータ11、12と、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100と、マルチプレクサ15と、励起光源16と、MMFケーブル23と、テーパ状MMFケーブル24とを備えて構成される。

【0019】図1に示すように、Nd:YAGレーザであるレーザ光源1によって発生された例えば波長1.06 $\mu$ m帯の単一モードのレーザ光はPMFケーブル21を介して光変調器2に入力され、光変調器2は入力されるレーザ光を、入力される情報信号であるベースバンド信号で強度変調して信号光として、SMFケーブル22と、信号光を入力端から出力端への所定の一方方向に通過させる光アイソレータ11と、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100とを介してマルチプレクサ15に出力する。ここで、波長1.06 $\mu$ m帯とは、1.05 $\mu$ mから1.07 $\mu$ mまでの波長帯である。また、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100は、詳細後述するように製造されて、SMFケーブル101とDCFケーブル102とが連結してなる。信号光は、光アイソレータ11からSMFケーブル101とDCFケーブル102とを介してマルチプレクサ15に入力される。

【0020】本実施例においては、光変調器2はレーザ光を強度変調しているが、位相変調するように構成してもよい。

【0021】上記片側SMFケーブル付きDCFケーブル100は、以下のようにして製造される。まず、公知の方法で製造済みのDCFケーブル100fが用意される。このDCFケーブル100fにおいては、図8に示すように、円形断面のコア110の周囲を覆うように環状断面の第1のクラッド111が形成され、さらに、第1のクラッド111の周囲を覆うように第1のクラッド111よりも大きな口径を有する環状断面の第2のクラッド112が形成される。ここで、コア110と、第1のクラッド111とは、互いに屈折率の異なる石英ガラスにてなり、第1のクラッド111の屈折率は、コア110の屈折率よりも小さい。また、第2のクラッド112は、第1のクラッド111よりも小さい屈折率を有する低屈折率ポリマーにてなる。ここで、第2のクラッド112は、例えば、フッ素が添加された石英ガラスであってもよい。当該DCFケーブル100fは例えば公知のVAD法により製造され、主としてコア110の部分

には所定の希土類元素としてNd、Er、又はPrなどがドーピングされ、他の元素としてAl、Pr、又はGeなどがドーピングされる。

【0022】次いで、図9に示すように、DCFケーブル100fの一端から所定の長さだけ第2のクラッド112を除去する。一方、図10に示すように、円形断面のコア110aの周囲を覆うように環状断面の第1のクラッド111aが形成されてなるSMFケーブルの周囲に例えば、第1のクラッド111よりも大きい屈折率を有するシリコン系プラスチックにてなるプライマリ被覆膜114によって被覆されて、連結すべきSMFケーブル100gが形成される。このSMFケーブル100の一端を、DCFケーブル100fの第2のクラッド112除去側の一端に対して同軸となるように連結する。ここで、SMFケーブル100gのコア径はDCFケーブル100fのコアに等しく、SMFケーブル100gのクラッド径はDCFケーブル100fの第1のクラッド径に等しい。そして、DCFケーブル100fの第2のクラッド112が除去された部分からプライマリ被覆膜114の所定の長さの部分にわたって、例えば、熱硬化プラスチックにてなる環状断面の融着補強チューブ115で被覆した後、当該融着補強チューブ115の外周面に所定の熱を印加することにより、SMFケーブル101の断面とDCFケーブル102の断面とを融着121して、SMFケーブル101gをDCFケーブル100fに同軸で連結することができ、これによって、SMFケーブル101とDCFケーブル102とからなる片側SMFケーブル付きDCFケーブル100を製造することができる。

【0023】一方、励起光源16は、レーザー光源であって、信号光よりも低い波長である所定の0.80μm帯の励起波長を有する励起光を発生して、円形断面のコア23cを有するMMFケーブル23と、テーパー状でコア径が小さくなる円形断面のコア24cとその周囲を覆う環状断面のクラッド24rとを有するテーパー状MMFケーブル24とを介してマルチプレクサ15に出射する。ここで、0.80μm帯は0.800μmから0.810μmまでの波長帯をいう。テーパー状MMFケーブル24は、MMFケーブル23側の一端で例えば400μmの同一のコア径のMMFケーブル23の一端と同軸で融着25により連結され、テーパー状MMFケーブル24のコア24cは、その径が同軸形状でマルチプレクサ15に向かって小さくなりようなテーパー状で形成され、マルチプレクサ15の連結端で例えば、125μmのコア径を有する。従って、テーパー状MMFケーブル24は、励起光をより小さい径のコアに変換してマルチプレクサ15に導入することができる。

【0024】マルチプレクサ15は、互いに波長が異なる信号光と励起光とを多重化する波長多重化装置であって、図2に示すように、コリメートレンズ150、15

1と、ダイクロイックミラー152とを備えて構成される。ダイクロイックミラー152は、励起光の波長で例えば99%以上の高い反射率を有しかつ高い屈折率を有する高反射薄膜と、信号光の波長で例えば5%以下の低い反射率を有しかつ低い屈折率を有する低反射薄膜とが交互に所定の積層数だけ積層されて構成される。従って、ダイクロイックミラー152は、励起光を反射するが、信号光を反射せずに通過させる。テーパー状MMFケーブル24から出射された励起光EBは、コリメートレンズ151に入射して、平行な光線に変換された後、ダイクロイックミラー152によって反射されてコリメートレンズ150に入射する。コリメートレンズ150は、励起光EBのビームをDCFケーブル102の第1のクラッド111の径かそれよりも若干小さい径に絞って、DCFケーブル102の第1のクラッド111に入射させる。

【0025】DCFケーブル102においては、マルチプレクサ15に向かって伝送されている信号光は、励起光によって励起され、上記励起によるコア110に含まれる希土類元素における誘導放出により増幅され、当該増幅された1.06μm帯の波長を有する信号光は、DCFケーブル102の出射端102sを介してコリメータレンズ150に入射する。コリメータレンズ150は、入射した信号光を平行光線に変換した後、ダイクロイックミラー152と、入射した信号光を入力端から出力端に出射させる光アイソレータ12とを介して、当該光増幅装置10から出射する。ここで、DCFケーブル102の信号光EBの出射端102sは、信号光がDCFケーブル102のコア110に戻らないように、すなわちレーザ発振を防止するために、図2に示すように、θ=約6°ないし約8°で傾斜角で斜め研磨される。

【0026】以上説明したように、本実施例においては、希土類元素が添加された光ファイバケーブルとして、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100とマルチプレクサ15とを用いて、信号光を忠実に増幅することができる後方励起型光増幅装置を構成することができる。また、テーパー状MMFケーブル24により、開口径が比較的大きい高出力の励起光源16からの励起光をより口径の小さいDCFケーブル102の第1のクラッド111に対して、従来例に比較して高い効率で導入させることができ、信号光を従来例に比較してより高い出力電力で出力することができる。

【0027】＜第2の実施例＞図3は、本発明に係る第2の実施例である反射ダブルパス型光増幅装置のブロック図である。図3において、第1の実施例の図1と図2と同一のものについては同一の符号を付しており、その説明を省略する。この第2の実施例の光増幅装置は、光サーキュレータ31と、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100と、テーパー状MMFケーブル24と、MMFケーブル23と、励起光源16とを備えて構成され

る。

【0028】図3に示すように、Nd:YAGレーザであるレーザ光源1によって発生された例えば波長1.06 $\mu$ m帯の単一モードのレーザ光はPMFケーブル21を介して光変調器2に入力され、光変調器2は入力されるレーザ光を、入力される情報信号であるベースバンド信号で強度変調して信号光として、PMFケーブル26を介して光サーキュレータ31の第1の端子に入射する。光サーキュレータ31の第1の端子に入射した信号光はその第2の端子から、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100のSMFケーブル101を介してそのDCFケーブル102に入射する。

【0029】図4は、図3における片側SMFケーブル付きDCFケーブル100と、テーパー状MMFケーブル24との連結部を示す図であり、図4(a)はDCFケーブル102の端部を示す縦断面図であり、図4(b)はダイクロイックミラー34mを除いたDCFケーブル102の端部を示す断面図であり、図4(d)はテーパー状MMFケーブル24の端部を示す縦断面図であり、図4(c)はダイクロイックミラー33mを除いたテーパー状MMFケーブル24の端部を示す断面図である。

【0030】片側SMFケーブル付きDCFケーブル100の他端の周囲には、図4(a)に示すように、コネクタ用フェルルール34が形成され、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100の他端面にダイクロイックミラー34mが形成される。一方、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100の他端面に連結されるテーパー状MMFケーブル24の端面の周囲にはコネクタ用フェルルール33が形成され、そのテーパー状MMFケーブル24の端面にはダイクロイックミラー33mが形成され、ダイクロイックミラー33mとダイクロイックミラー34mとが端面同士で連結されて、コネクタ用フェルルール33と34の各フランジ部が例えばネジ止めにより連結固定されて連結部35を形成する。

【0031】ここで、テーパー状MMFケーブル24の端面におけるコア24cの径は、DCFケーブル102の第1のクラッド111の径に等しくなるように設定される。また、ダイクロイックミラー33m、34mはそれぞれ、信号光の波長で例えば99%以上の高い反射率を有しかつ高い屈折率を有する高反射薄膜と、励起光の波長で例えば5%以下の低い反射率を有しかつ低い屈折率を有する低反射薄膜とが交互に所定の積層数だけ積層されて構成され、信号光を反射するが、励起光を反射せずに通過させる。従って、励起光源16は、信号光よりも低い波長である単一モードの所定の0.80 $\mu$ m帯の励起波長を有する励起光を発生して、MMFケーブル23のコア23cと、テーパー状MMFケーブル24のコア24cとを介してDCFケーブル102の第1のクラッド111に入射させる。ここでは、口径が比較的大きな励起光源用MMFケーブル23からの出射光を、一旦テ

バ状MMFケーブル24により小さな伝搬モード径に低損失で変換した後でDCFケーブル102の第1のクラッド111に結合させて入射させている。

【0032】DCFケーブル102においては、連結部16に向かって伝送されている信号光は、励起光によって励起され、上記励起によるコア110に含まれる希土類元素における誘導放出により増幅され、当該増幅された1.06 $\mu$ m帯の波長を有する信号光は、ダイクロイックミラー34mによって反射され、片側SMFケーブル付きDCFケーブル100のDCFケーブル102とSMFケーブル101とを介して光サーキュレータ31の第2の端子に戻って入射する。すなわち、信号光はDCFケーブル102を往復するときに伝送されながら増幅される。光サーキュレータ31は、第2の端子に入射した増幅された信号光を、第3の端子から外部装置に向けて出射する。

【0033】以上説明したように、本実施例においては、信号光は希土類元素が添加された光ファイバケーブルである片側SMFケーブル付きDCFケーブル100のDCFケーブル102とSMFケーブル101とを往復して伝送することにより、増幅され、光サーキュレータ31の第3の端子から出射されることになる。ここで、光サーキュレータ31から出力して反射帰還する光は光サーキュレータ31により除去され、反射帰還光の影響を受けずに安定な増幅動作が維持される。従って、信号光は従来例に比較して忠実に増幅される。また、テーパー状MMFケーブル24により、開口径が比較的大きい高出力の励起光源16からの励起光をより口径の小さいDCFケーブル102の第1のクラッド111に対して、従来例に比較して高い効率で導入させることができ、信号光を従来例に比較してより高い出力電力で出力することができる。

【0034】この第2の実施例の連結部35に代えて、図5に示すように、誘電体基板120上に多層膜層121を形成したものを用いてもよい。なお、図5において、コネクタ用フェルルールについては省略している。誘電体基板120の多層膜層121が形成されていない面にテーパー状MMFケーブル24が連結される一方、多層膜層121上にDCFケーブル102が連結される。誘電体基板120は、例えば、ポリイミドフィルム又はガラスにてなり、励起光波長においてきわめて小さい反射率を有し、励起光を通過させる。また、多層膜層121は、信号光の波長で例えば99%以上の高い反射率を有しかつ高い屈折率を有する高反射薄膜と、励起光の波長で例えば5%以下の低い反射率を有しかつ低い屈折率を有する低反射薄膜とが交互に所定の積層数だけ積層されて構成され、信号光を反射するが、励起光を反射せずに通過させる。従って、励起光はテーパー状MMFケーブル24から誘電体基板120と多層膜層121とを介してDCFケーブル102に入射する。信号光は、DCF

ケーブル102を伝送されながら増幅され、多層膜層121によって反射された後、再び、DCFケーブル102を伝送されながら増幅される。

【0035】また、上記第2の実施例に代えて、図6に示すように、テーパ状MMFケーブル24の端面と、DCFケーブル102の端面とを融着120するとともに、DCFケーブル102のコア110内の連結融着部近傍に、信号光波長において図7に示すように、励起光波長に比べてより高い反射率となる回折格子を形成することにより、ファイバグレーティング部110gを形成し、擬似ダイクロイックミラーとして動作させてもよい。なお、図6においても、コネクタ用フェルルールについては省略している。この場合においても、信号光と励起光は上述の変形例と同様に伝送される。

#### 【0036】

【発明の効果】以上詳述したように本発明に係る請求項1記載の光増幅装置によれば、コアとクラッドを有するシングルモードの第1の光ファイバケーブルと、上記第1の光ファイバケーブルのコア径と同一のコア径を有しかつ所定の希土類元素と他の元素がドーピングされたコアと、上記第1の光ファイバケーブルのクラッド径と同一の径を有する第1のクラッドと、上記第1のクラッドよりも大きな口径を有する第2のクラッドとを有し、上記第1の光ファイバケーブルに同軸で連結されたシングルモードの第2の光ファイバケーブルと、所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに出力する第1の光アイソレータと、所定の励起光波長を有する励起光を発生する発生手段と、上記発生手段に連結されるより大きな口径からより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して出力するマルチモードの第3の光ファイバケーブルと、上記第3の光ファイバケーブルから出力される励起光を反射して、上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅されて上記第2の光ファイバケーブルから出力される信号光を通過させ上記励起光とは別の方向に出力される信号光を通過させ上記励起光とは別の方向に出力するマルチプレクサ手段と、上記マルチプレクサ手段から出力される信号光を所定の一方に伝送して出力する第2の光アイソレータとを備える。従って、希土類元素が添加された光ファイバケーブルとして、互いに連結された上記第1と第2の光ファイバケーブルと上記マルチプレクサを用いて、信号光を忠実に増幅することができる後方励起型光増幅装置を構成することができる。また、テーパ状コアを有する第3の光ファイバケーブルにより、開口径が比較的大きい高出力の励起光源からの励起光をより口径の小さい上記第2の光ファイバケーブル

の第1のクラッドに対して、従来例に比較して高い効率で導入させることができ、信号光を従来例に比較してより高い出力電力で出力することができる。

【0037】また、本発明に係る請求項2記載の光増幅装置によれば、コアとクラッドを有するシングルモードの第1の光ファイバケーブルと、上記第1の光ファイバケーブルのコア径と同一のコア径を有しかつ所定の希土類元素と他の元素がドーピングされたコアと、上記第1の光ファイバケーブルのクラッド径と同一の径を有する第1のクラッドと、上記第1のクラッドよりも大きな口径を有する第2のクラッドとを有し、上記第1の光ファイバケーブルに同軸で連結されたシングルモードの第2の光ファイバケーブルと、所定の励起光波長を有する励起光を発生する発生手段と、上記発生手段に連結されるより大きな口径から上記第2の光ファイバケーブルに連結されるより小さい口径に変換するテーパ状のコアと、クラッドとを有し、上記発生手段によって発生された励起光を伝送して上記第2の光ファイバケーブルに出力するマルチモードの第3の光ファイバケーブルと、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部又は当該連結部近傍の上記第2の光ファイバケーブルに設けられ、上記励起光を通過させるが信号光を反射する反射手段と、所定の信号光波長を有して入力される信号光を所定の一方に伝送して上記第1の光ファイバケーブルを介して上記第2の光ファイバケーブルに入射することにより、上記第2の光ファイバケーブルにおいて伝送される信号光を上記励起光により励起し、上記励起による上記第2の光ファイバケーブルにおける誘導放出により増幅された後上記反射手段によって反射されて上記第2の光ファイバケーブルを介して上記第1の光ファイバケーブルから出力される信号光を所定の一方に伝送する光サーキュレータとを備える。ここで、上記光サーキュレータから出力して反射帰還する光は光サーキュレータにより除去され、反射帰還光の影響を受けずに安定な増幅動作が維持される。従って、信号光は従来例に比較して忠実に増幅される。また、テーパ状コアを有する第3の光ファイバケーブルにより、開口径が比較的大きい高出力の励起光源からの励起光をより口径の小さい上記第2の光ファイバケーブルの第1のクラッドに対して、従来例に比較して高い効率で導入させることができ、信号光を従来例に比較してより高い出力電力で出力することができる。

【0038】また、請求項3記載の光増幅装置によれば、請求項2記載の光増幅装置において、上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられたダイクロイックミラーである。これにより、より簡単な装置構成で構成できるので、製造コストを安価にすることができる。

【0039】さらに、請求項4記載の光増幅装置によれば、請求項2記載の光増幅装置において、上記反射手段



は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部に設けられ、誘電体基板上に形成された多層膜層である。これにより、より簡単な装置構成で構成できるので、製造コストを安価にすることができる。

【0040】またさらに、請求項5記載の光増幅装置によれば、請求項2記載の光増幅装置において、上記反射手段は、上記第2の光ファイバケーブルと上記第3の光ファイバケーブルとの間の連結部近傍の上記第2の光ファイバケーブルに形成された回折格子である。これにより、より簡単な装置構成で構成できるので、製造コストを安価にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る第1の実施例である後方励起型光増幅装置のブロック図である。

【図2】 図1のマルチプレクサのブロック図である。

【図3】 本発明に係る第2の実施例である反射ダブルパス型光増幅装置のブロック図である。

【図4】 図3における片側SMFケーブル付きDCFケーブルと、テーパー状MMFケーブルとの連結部を示す図である。

【図5】 第2の実施例の第1の変形例である、片側SMFケーブル付きDCFケーブルと、テーパー状MMFケーブルとの連結部を示す図である。

【図6】 第2の実施例の第2の変形例である、片側SMFケーブル付きDCFケーブルと、テーパー状MMFケーブルとの連結部を示す図である。

【図7】 図6のグレーティング光ファイバケーブルの反射率の波長特性の一例を示すグラフである。

【図8】 第1及び第2実施例において用いる片側SMFケーブル付きDCFケーブルの製造方法を示す第1の工程の縦断面図である。

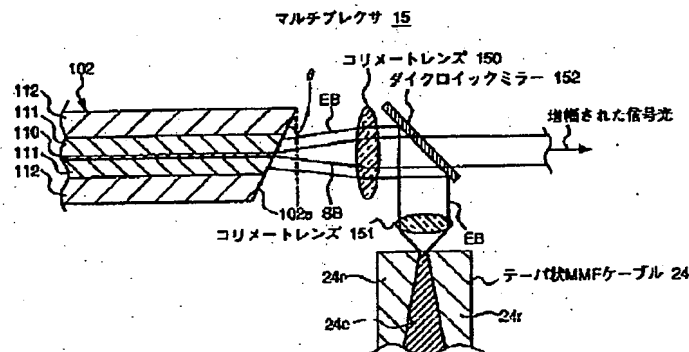
【図9】 第1及び第2実施例において用いる片側SMFケーブル付きDCFケーブルの製造方法を示す第2の工程の縦断面図である。

【図10】 第1及び第2実施例において用いる片側SMFケーブル付きDCFケーブルの製造方法を示す第3の工程の縦断面図である。

【符号の説明】

- 1…レーザ光源、
- 2…光変調器、
- 11, 12…光アイソレータ、
- 15…マルチプレクサ、
- 16…励起光源、
- 21…PMFケーブル、
- 22…SMFケーブル、
- 23…MMFケーブル、
- 24…テーパー状MMFケーブル、
- 23c, 24c…コア、
- 24r…クラッド、
- 31…光サーキュレータ、
- 33, 34…コネクタ用フェルル、
- 33m, 34m…ダイクロイックミラー、
- 35…連結部、
- 100…片側SMFケーブル付きDCFケーブル、
- 100f…DCFケーブル、
- 100g…SMFケーブル、
- 101…SMFケーブル、
- 102…DCFケーブル、
- 110…コア、
- 110g…ファイバグレーティング部、
- 111…第1クラッド、
- 112…第2クラッド、
- 114…プライマリー被覆膜、
- 115…融着補強チューブ、
- 120…誘電体基板、
- 121…多層膜層、
- 150, 151…コリメートレンズ、
- 152…ダイクロイックミラー。

【図2】



後方励起型光増幅装置 10

マルチプレクサ 15

増幅された信号光

光アイソレータ 12

テーパ状MMFケーブル 24

MMFケーブル 23

励起光

励起光源 16

片側SMFケーブル付きDCFケーブル 100

101 102

光アイソレータ 11

SMFケーブル 22

信号光

2

光変調器

ベースバンド信号

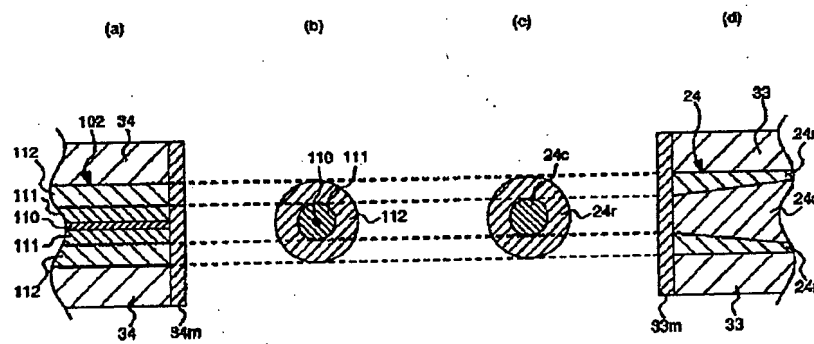
PMFケーブル 21

1

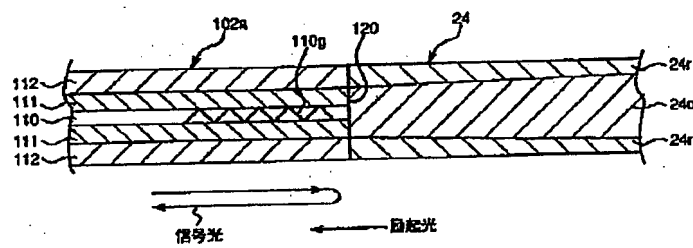
レーザ光源

Figure 1 is a cross-sectional view of a waveguide structure. The structure consists of a central core 102, which is divided into two main sections: a left section 112 and a right section 120. The core 102 is surrounded by cladding layers 110 and 111. A vertical layer 121 is positioned between the core 102 and the cladding layers 110 and 111. A signal light beam (信号光) is shown entering from the left, and a light beam (光) is shown exiting to the right. The structure is labeled with various reference numerals: 102, 110, 111, 112, 120, 121, 24, and 24a.

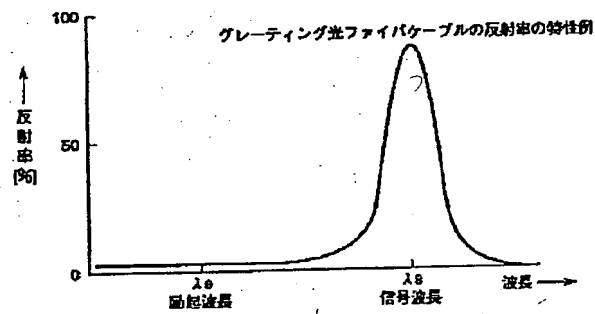
【図 4】



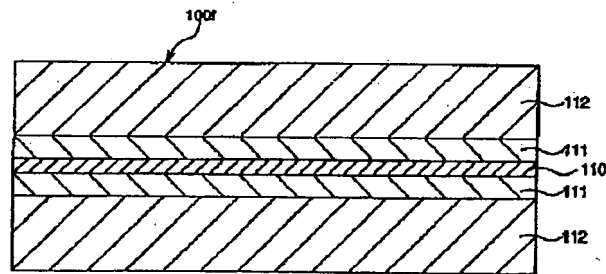
【図 6】



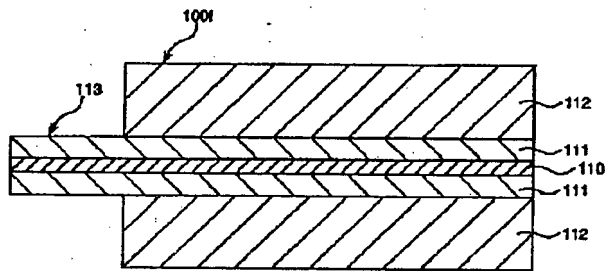
【図 7】



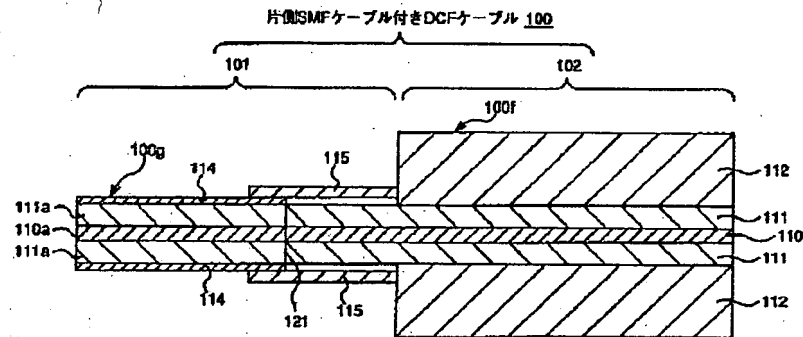
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 唐沢 好男  
京都府相楽郡精華町大字乾谷小字三平谷 5  
番地 株式会社エイ・ティ・アール光電波  
通信研究所内

(72)発明者 吉田 実  
兵庫県尼崎市東向島西之町 8 番地 三菱電  
線工業株式会社内